

AGRUPAMENTO DE ESTUDOS DE CARTOGRAFIA ANTIGA

XXVII

SECÇÃO DE COIMBRA

LES CONDITIONS DE LA NAVIGATION ASTRONOMIQUE
AU XV^E SIÈCLE

PAR

EMMANUEL POULLE

JUNTA DE INVESTIGAÇÕES DO ULTRAMAR
COIMBRA • 1969

Separata da
Revista da Universidade de Coimbra
Vol. XXIV

LES CONDITIONS DE LA NAVIGATION ASTRONOMIQUE AU XV^e SIÈCLE

par

EMMANUEL POULLE

La question de la naissance d'une navigation astronomique dans les marines occidentales à l'époque des grandes découvertes a suscité des débats toujours ouverts. Il est vrai qu'elle se pose dans des conditions difficiles du fait de l'extrême pauvreté des documents que l'on peut interroger et de leur ambiguïté. Il est significatif, d'ailleurs, que ce problème ait été souvent abordé par des voies subjectives et qu'on ait été jusqu'à invoquer des arguments passionnels qui n'y ont pas leur place.

C'est cependant à une démarche indirecte que je voudrais encore avoir recours. Je ne suis pas spécialiste de l'histoire de la navigation, mon domaine est celui de l'astronomie médiévale, mais je crois pouvoir, à ce titre, soulever la question des conditions scientifiques et techniques auxquelles fut soumise, à ses origines, la navigation astronomique.

Si on définit celle-ci comme l'ensemble des «procédés de direction du navire par l'observation des astres», selon l'expression de J. Bensaude, en donnant au mot «observation», non pas un sens contemplatif, mais sa valeur astronomique de mesure des positions, on conviendra que les problèmes posés par la navigation astronomique se ramènent aux trois suivants: détermination de la latitude, soit, de jour, par l'observation de la hauteur du soleil, soit, de nuit, par celle de l'étoile polaire ou d'une étoile circompolaire, et détermination de la longitude par l'écart de temps compris entre le moment prévu pour l'observation d'un phénomène astronomique et le moment effectif auquel il est constaté.

Ces problèmes ont été normalement abordés, au moyen âge, par les traités d'instruments astronomiques et notamment par ceux de l'astrolabe. On sait que cet instrument a été introduit en occident latin à l'extrême fin du x^e siècle, par l'intermédiaire des milieux scientifiques de l'Espagne du nord. Selon une tradition empruntée d'ailleurs aux pays islamiques, l'instrument et son fonctionnement étaient expliqués et détaillés dans deux sortes de traités, les traités de construction et les traités d'usages, souvent associés en un traité unique de construction et d'usages. Les premiers textes latins, aux x^e et xi^e siècles, ceux dont le professeur Millàs-Vallicrosa a retrouvé

l'origine à l'abbaye de Ripoll et ceux qui ont été répandus sous les noms de Gerbert et d'Hermann le Boiteux, sont encore d'une rédaction très maladroite; leur vocabulaire technique est littéralement transposé de l'arabe, et l'indigence scientifique est flagrante. Dès le XII^e siècle, cependant, les traités d'astrolabe, tant en traduction qu'en rédaction originale, acquièrent une qualité pour ainsi dire définitive: les textes de Raymond de Marseille, d'Arialdus, d'Adélarde de Bath ou de Robert de Chester, les traductions de Jean de Séville, de Platon de Tivoli ou de Rodolphe de Bruges n'ont rien à envier, pour la clarté de l'exposé comme pour la nomenclature des usages, aux textes des XIV^e, XV^e ou XVI^e siècles. La consécration de ce genre de littérature est venue, sans doute dès la fin du XIII^e siècle, lorsque la théorie de l'astrolabe fut utilisée pour l'enseignement élémentaire de l'astronomie dans les universités.

A la vérité, les textes sont peu nombreux qui font formellement état de l'inscription de la théorie de l'astrolabe dans les programmes universitaires; mais on a pu expliquer ce silence par les conditions particulières, officieuses en quelque sorte, dans lesquelles était dispensé l'enseignement de l'astronomie (1). On constate, en tout cas, dans les manuscrits des XIV^e et XV^e siècles, l'existence d'un véritable «corpus» de textes scientifiques intéressant l'algorithme, le comput et l'astronomie, en relation directe avec l'enseignement universitaire; parmi ces textes, le traité d'astrolabe de Messahala («Scito quod astrolabium est nomen grecum...» pour la partie de construction, et «Nomina instrumentorum astrolabii sunt hec...» pour la partie d'usages) occupe une place constante qui lui vaut de devenir un manuel sur le sujet: sa diffusion connaît alors un succès inouï, qu'on peut apprécier aujourd'hui encore par le nombre incroyable des manuscrits conservés et par l'influence qu'il a exercée sur pratiquement tous les traités d'astrolabe désormais publiés.

La détermination de la latitude par l'usage de l'astrolabe ne fait, dans les textes du X^e siècle, qu'une apparition timide. Llobet de Barcelone (2) n'envisage ce problème que par le biais du choix du tympan convenable pour un «climat» donné, c'est-à-dire pour une latitude: il faut prendre la hauteur du soleil (la hauteur méridienne, s'entend, ce que Llobet ne précise pas)

(1) Sur la place des traités d'astrolabe dans l'enseignement universitaire, v. G. BEAUJOUAN, *L'enseignement de l'arithmétique élémentaire à l'Université de Paris aux XIII^e et XIV^e siècles*, dans *Homenaje a Millàs-Vallcrosa*, Barcelona, 1954, t. I, pp. 93-124, notamment pp. 97-104, et *Motives and opportunities for science in the medieval universities*, dans *Scientific change, symposium...* Oxford, 1961, pp. 219-236, notamment pp. 220-224. Dans son commentaire sur la sphère de Sacrobosco, J. Paul de Fundis, au XV^e siècle, fixe le programme de ce que doit comprendre l'enseignement de l'astronomie: «Ordo in tali scientia [astrologia] temptando talis est; nam primo legendum est de spera rotunda, 2.^o theoricam planetarum, 3.^o de algorismo, 4.^o de tabulis, 5.^o de compositione astrolabii et ejus opere, 6.^o de judiciis astronomie, 7.^o liber judicium Ptolomei sive Haliherberagel, 8.^o A[l]pharaganus et novo Almagesti; licet secundo ponebatur theorica planetarum sed illud erat pro majori introductione tabularum, unde et simul legi deberent» (Paris, lat. 7273, fol. 2v).

(2) J.-M. MILLÀS-VALLCROSA, *Assaig d'història de les idees físiques i matemàtiques a la Catalunya medieval*, Barcelona, 1931 (Estudis universitaris catalans, serie monogràfica, I), p. 287.

lors de l'équinoxe et la retrancher de 90° (3). Raymond de Marseille, vers 1140, aborde franchement la question (4): on trouve la latitude d'un lieu en retranchant de 90° la hauteur méridienne du soleil à l'équinoxe; ailleurs qu'à l'équinoxe, il faut tenir compte de la déclinaison du soleil à la date considérée, déclinaison fournie par une table qui n'est pas jointe au traité d'astrolabe mais qui figure parmi les tables astronomiques faisant partie du *Liber cursuum planetarum* du même Raymond de Marseille (5). Désormais, depuis le milieu du XII^e siècle, la détermination de la latitude par la hauteur méridienne du soleil est un usage classique. On notera cependant que, si certains textes, comme celui d'Andalo di Negro (6), au début du XIV^e siècle, ont le souci d'adjoindre une table des déclinaisons du soleil, d'autres rappellent que la graduation créée sur la ligne de midi par les almucantarats de tout tympan fournit aisément l'équivalent d'une telle table (7).

La détermination de la latitude par l'observation des étoiles est apparue plus tard dans les traités d'astrolabe que l'utilisation de la hauteur méridienne du soleil; le problème n'est pas abordé par les plus anciens textes. Raymond de Marseille, le premier peut-être, lui fait une place (8); il est vrai que le passage de son traité mérite d'être relevé ici car il est, à ma connaissance, le seul exemple d'un traité d'astrolabe qui fasse allusion à la conduite des navires. C'est une allusion littéraire: Raymond de Marseille recommande la double observation, à son passage supérieur et à son passage inférieur, d'une étoile voisine du pôle et qui ne se couche pas, telle que Bennesas (η *Urse Minoris*) ou les étoiles de la Petite Ourse, ou, mieux encore, Algedi (9), appelée en latin *Maris Stella* parce que les marins règlent sur elle leur chemin; et de citer les vers de la Pharsale où Lucain décrit Pompée en fuite se faisant expliquer par son pilote les secrets de la navigation d'après les étoiles.

Tous les traités du XII^e siècle ne proposent cependant pas encore cet usage, qui devient régulier après qu'il ait figuré dans le traité d'astrolabe de Messahalla (10) dont nous avons vu la diffusion privilégiée; mais alors l'utilisation d'une étoile circompolaire n'est plus seule envisagée, il est précisé qu'on peut avoir recours à la hauteur maximale d'une étoile quelconque

(3) Texte pratiquement identique sous le nom de Gerbert (N. BUBNOV, *Gerberti opera mathematica*, Berlin, 1899, p. 140).

(4) E. POULLE, *Le traité d'astrolabe de Raymond de Marseille*, dans *Studi medievali*, 3^e série, t. 5, 1964, p. 895.

(5) Paris, lat. 14704, fol. 135; Cambridge, Fitzwilliam Museum, Mc Clean 165, fol. 66. La table des déclinaisons de R. de Marseille est la même que celle d'Azarquiel; v. ci-après, n. 28.

(6) Paris, lat. 10266, fol. 40.

(7) R. T. GUNTHER, *Chaucer and Messahalla on the astrolabe*, Oxford, 1929 (*Early science in Oxford*, V), p. 223.

(8) E. POULLE, *op. cit.*, pp. 896-897.

(9) Déformation de: Algady (cf. P. KUNITZSCH, *Arabische Sternnamen in Europa*, Wiesbaden, 1959, p. 136), qu'il ne faut pas confondre avec α Capricorni, communément appelée au moyen âge Algedi.

(10) R. T. GUNTHER, *op. cit.*, p. 223.

dont on connait, pour la retracer, la déclinaison; développement naturel, au reste, puisque la double observation d'une étoile n'est possible que pendant les longues nuits d'hiver.

Ainsi, on peut constater que, depuis le milieu du XII^e siècle, la connaissance des différentes méthodes de détermination de la latitude par l'observation des astres fait partie du fonds commun de l'enseignement astronomique au moyen âge. Une solution au problème de la détermination de la longitude fut également proposée. Moins fréquemment rencontrée, elle se caractérise par son excellence théorique et par sa totale inefficacité pratique. On la trouve pour la première fois, semble-t-il, dans quelques textes du XII^e siècle (traités dits de Jean de Séville (11), de Maslama (12)) et surtout dans le traité de Messahalla (13) qui lui assura la diffusion la plus large. Le principe consiste à mesurer la différence de longitude entre deux lieux en constatant la différence de temps qui sépare l'observation d'une éclipse lunaire entre ces deux lieux et en la transformant en degrés de longitude, à raison de quinze degrés par heure; comme l'observateur ne peut se trouver en deux endroits à la fois ni gagner le second suffisamment à temps après avoir opéré au premier, il lui faut avoir calculé l'heure de l'éclipse en l'un des deux lieux à l'aide d'une table adéquate, à moins de s'être entendu avec un collègue, comme le suggère un traité anonyme (14).

Il est inutile de souligner combien la mise en application de ce procédé eût alors été illusoire. Le choix de l'événement astronomique à observer est certes fort judicieux: c'est un phénomène suffisamment fréquent, sa prévision au moyen de tables astronomiques est un problème banal de l'astronomie médiévale; à la différence, enfin, de l'éclipse solaire, qui se produit au même moment pour tous mais ne peut être observée que sur une partie réduite de la surface terrestre, l'éclipse lunaire est visible partout et à une heure variable. Malheureusement la comparaison entre les résultats de deux observations simultanées ou entre une observation et une prévision par le calcul se heurte à la totale impossibilité qu'il y a eu, jusqu'au XVIII^e siècle, à disposer d'une heure astronomiquement exacte et surtout à la transporter.

L'astrolabe n'est évidemment pas le seul instrument astronomique médiéval dont la théorie ait proposé une solution aux trois problèmes qui nous occupent. Si j'en ai parlé d'abord, c'est qu'il est le plus connu, le plus répandu des instruments astronomiques médiévaux. Deux autres instruments, le quadrant nouveau et la saphea, imaginés ou diffusés dans l'occident chrétien par le juif montpelliérain Profacius à la fin du XIII^e siècle, sont directement dérivés de lui, ayant appliqué la projection stéréographique à des cas particuliers; présentés par leur auteur comme des perfectionnements de l'astro-

(11) Paris, lat. 7292, fol. 294v.

(12) J.-M. MILLAS-VALLICROSA, *Las traducciones orientales en los manuscritos de la biblioteca catedral de Toledo*, Madrid, 1942, p. 275.

(13) R. T. GUNTHER, *op. cit.*, p. 224.

(14) Paris, lat. 7282, fol. 59.

labe, il était normal que la nomenclature de leurs usages ne soit pas moins longue que celle de l'instrument qu'ils prétendaient supplanter. En fait, tous les traités du quadrant nouveau ainsi que la *saphea* de Profacius s'intéressent à la détermination de la latitude (15), et on trouve le problème de la longitude par l'éclipse lunaire dans l'édition du quadrant nouveau produite en 1324 par un élève de Profacius, Andalo di Negro (16). Il n'y aurait rien de plus à ajouter ici sur ces deux instruments, dont la diffusion n'atteint d'ailleurs pas, et de loin, celle de l'astrolabe, si l'occasion ne m'était offerte de réfuter solennellement la qualification de «nautique» qui a été malencontreusement accolée au quadrant nouveau par deux historiens normands, A. Anthiaume et J. Sottas. Les exemplaires conservés du quadrant nouveau sont très rares, je n'en connais, pour le moyen âge, que trois, mais l'un d'eux, conservé au Musée de Rouen, a eu la singulière fortune d'une monographie exhaustive due à ces deux érudits (17). Or, soucieux de justifier la qualité de l'ancienne marine normande dont ils étaient les ardents défenseurs, ils se sont attachés, avec un soin étonnant, à démontrer que le quadrant de Rouen, attribué de surcroît de façon toute gratuite et pour les besoins de la cause à Jean de Betencourt, était l'instrument-type des pilotes normands; le calendrier soli-lunaire du dos, notamment, leur a paru être un ingénieux système de prévision de l'heure des marées! Malgré des qualités certaines, hélas compromises dans une cause douteuse, le livre d'Anthiaume et Sottas mérite de demeurer comme un exemple des affabulations que crée l'érudition passionnelle.

La fin du XIII^e siècle est décidément le plus grand «moment» de l'histoire des instruments astronomiques au moyen âge. Profacius a imaginé le quadrant nouveau et diffusé la *saphea* d'Azarquiel. En 1284, Francon de Pologne invente le turquet, à moins que ce ne soit, un peu avant lui, le franciscain Bernard de Verdun (18); mais les usages du turquet ne portent guère que

(15) Sur le quadrant nouveau, v. E. POULLE, *Le quadrant nouveau médiéval*, dans *Journal des savants*, 1964, pp. 148-167 et 182-214. La *saphea* de Profacius est éditée par J.-M. MILLAS-VALLICROSA, *Don Profeit Tibbon, Tractat de l'assafea d'Azarquiel*, Barcelone, 1933 (*Biblioteca hebraico-catalana*, IV); le problème qui nous occupe est p. 121. Dans la première moitié du XIII^e siècle, Guillelmus Anglicus avait déjà publié un traité sur la *saphea* inventée à la fin du XI^e siècle (la première partie est éditée par L. A. SÉDILLOT, *Mémoire sur les instruments astronomiques des Arabes*, dans *Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des inscriptions et belles-lettres*, t. 1, 1844, pp. 185-190; le reste par P. TANNERY, *Le traité du quadrant de maître Robert Anglès*, dans *Notices et extraits des manuscrits de la Bibliothèque nationale*, t. 35, 2^e partie, 1897, pp. 635-639; mais l'instrument de G. Anglicus est très gauche et ses usages sont très succincts.

(16) Paris, lat. 7437, fol. 170v-171.

(17) A. ANTHIAUME et J. SOTTAS, *L'astrolabe-quadrant du Musée des antiquités de Rouen*, Paris, 1913.

(18) Le traité de Francon de Pologne est publié par R. T. GUNTHER, *Early science in Oxford*, t. II, *Astronomy*, Oxford, 1923, pp. 370-375. Celui de Bernard de Verdun est édité par P. HARTMANN, *Bernardus de Viriduno, Tractatus super totam astrologiam*, Werl, 1961, pp. 140-142; cf. E. POULLE, *Bernard de Verdun et le turquet*, dans *Isis*, t. 55, 1964, pp. 200-208.

sur les problèmes de changement des coordonnées équatoriales en coordonnées écliptiques, ou vice-versa, question d'ailleurs pour laquelle cet instrument est particulièrement qualifié. Plus importante est l'édition, à une date malheureusement inconnue mais très certainement dans le troisième quart du XIII^e siècle, du traité du quadrant de Robertus Anglicus. Ce Robertus, dont on ne sait d'ailleurs presque rien (son nom même est contesté), n'est sûrement pas l'inventeur du quadrant, qualifié de commun ou d'ancien pour le distinguer du quadrant nouveau de Profacius; d'autres, avant lui ou en même temps que lui, ont écrit sur cet instrument: Sacrobosco ou Campanus de Novare, par exemple. Mais le traité de Robertus Anglicus («Geometrie due sunt partes...») (19), à l'image du traité d'astrolabe de Messahalla avec lequel il se trouve très souvent associé dans les manuscrits, fut utilisé pour l'enseignement de l'astronomie dans les universités et connu à ce titre une diffusion exceptionnelle. On sait que le quadrant ancien associe un curseur, destiné à faire intervenir la latitude géographique du lieu d'utilisation, aux lignes des heures inégales et au carré des ombres, qui figurent d'ailleurs déjà au dos de l'astrolabe depuis le XII^e siècle. Mais l'intérêt particulier que présente le traité de Robertus Anglicus est qu'il s'accompagne normalement, dans les manuscrits, d'une table quadriennale des déclinaisons du soleil dont je reparlerai dans un instant.

Cette revue des instruments astronomiques d'observation du moyen âge ne serait pas complète si je ne mentionnais encore le bâton de Jacob, dont la place parmi eux est cependant tout à fait à part. Inventé en 1342 par un Juif d'Avignon, Leo de Balneolis, et baptisé par lui *Revelator secretorum*, c'est l'ancêtre direct de l'arbalestrille; mais le nom sous lequel il est connu, jusqu'au début du XVI^e siècle, est celui de «bâton de Jacob», probablement en raison des incisions qu'il portait, comme le bâton dont se servit Jacob pour se constituer des troupeaux aux dépens de ceux de Laban. Outre le texte de Leo de Balneolis (20), dont la diffusion semble avoir été très restreinte, on trouve quelques traités anonymes du bâton de Jacob; ce sont tous des textes très courts; lorsque des usages astronomiques y sont énoncés (car la plupart du temps il n'est envisagé que des usages géométriques), il est seulement question de mesurer la distance entre deux étoiles ou la hauteur d'un astre sur l'horizon.

On ne sait pas si des bâtons de Jacob ont été fabriqués au moyen âge; c'est possible, car cela ne posait pratiquement aucun problème technique. Il est même possible que d'aucuns s'en soient servi pour observer ou pour mesurer, notamment chez les arpenteurs. Ce serait alors, en tout cas, une originalité à relever, car il est certain que les instruments médiévaux dits d'observation, et l'astrolabe en particulier, ne servaient nullement aux obser-

(19) P. TANNERY, *op. cit.*, pp. 593-632.

(20) Edition partielle par M. CURTZE, *Die Abhandlung des Levi ben Gerson über Trigonometrie und den Jakobsstab*, dans *Bibliotheca mathematica*, 2^e série, 1898, pp. 107-109.

vations astronomiques, en dépit d'une légende tenace, en dépit même de témoignages contemporains apparemment contraires; c'est ainsi que l'astrolabe figure souvent dans les illustrations de manuscrits comme attribut de l'astronome, l'exemple le plus connu étant la miniature du célèbre psautier dit de Blanche de Castille (21), mainte fois reproduite, et qu'il accompagne Uranie dans la décoration sculptée de plusieurs cathédrales (22). Mais sa présence y est précisément justifiée par l'existence d'une sorte de lieu commun, dont les manifestations sont, comme on vient de le voir, très anciennes; elles sont aussi durables: au xvii^e siècle, il symbolisait encore l'astronomie, et chacun a en mémoire les vers par lesquels Boileau raillait la femme savante:

«Un astrolabe en main, elle a, dans sa gouttière,

A suivre Jupiter passé la nuit entière» (23).

L'astrolabe passant pour l'instrument d'observation astronomique par excellence, un astronome ne peut faire admettre la crédibilité de son activité scientifique qu'en invoquant l'indispensable concours de cet outil prestigieux. En fait, le geste rituel consistant à suspendre l'instrument au pouce, à bout de bras, pour viser une étoile à travers les deux pinnules ou pour faire passer un rayon du soleil à travers la première pinnule jusqu'au milieu de la seconde, ce geste traduit davantage un certain amateurisme qu'il ne garantit l'efficacité de la mesure effectuée.

Si le succès de l'astrolabe fut cependant indéniable, et la bonne centaine d'exemplaires antérieurs au xvi^e siècle encore subsistants est là pour en témoigner, il s'explique par le rôle capital joué par cet instrument dans l'enseignement de l'astronomie élémentaire (24). La théorie de l'astrolabe se révèle en effet d'un concours inappréciable pour l'apprentissage des rudiments de l'astronomie, notamment pour saisir les conséquences, sur la position de l'écliptique par rapport à l'horizon, de la rotation diurne apparente de la voûte céleste. Les universités médiévales ne s'y étaient pas trompées: j'ai signalé la part qu'y tenait la théorie de l'astrolabe dans l'enseignement de l'astronomie. On peut saisir l'importance de ce rôle pédagogique de l'astrolabe, et des instruments astronomiques en général, en parcourant le registre

(21) Reproduit notamment sur la jaquette en couleurs de l'*Histoire générale des sciences*, dir. R. Taton, t. I, *La science antique et médiévale*, Paris, 1957. Autres miniatures publiées: P. LACROIX, *Sciences et lettres au moyen âge et à l'époque de la renaissance*, Paris, 1877, p. 91; G. BAZIN, *Petrus Christus*, dans *Revue des arts*, 1952, pp. 195-209. Voici quelques références de miniatures représentant un astrolabe: Paris, lat. 7432, fol. 5 et 134; Genève, fr. 168, fol. 168, 169; Londres, Harl. 4831, fol. 4; etc.

(22) Par exemple à l'ébrasement nord du portail central de la cathédrale de Sens et à l'ébrasement sud de la rose central de la cathédrale de Laon; des croquis de ces sculptures ont été publiés par S. GARCIA FRANCO, *Catalogo crítico de astrolabios existentes en España*, Madrid 1945, p. 34, mais en inversant les attributions.

(23) BOILEAU, *Satires*, X, 328.

(24) A côté de son rôle pédagogique, qui est essentiel, l'astrolabe a aussi joué celui d'un instrument de calcul extrêmement utile: il donne par exemple de façon tout à fait rapide et simple, même si le résultat est approximatif, la position des principales étoiles en plein jour.

des prêtres consentis par la bibliothèque du collège de Sorbonne, au ^{xv}^e siècle, à ses étudiants et professeurs (25): Jean Ladurée, par exemple, qui emprunte, en 1405, en même temps que tout un lot de livres scientifiques, un astrolabe, un turquet et un équatoire, ne se proposait très certainement que d'apprendre ses cours; des prêtres d'astrolabes sont à plusieurs reprises mentionnés. Un autre collège, celui de Maître Gervais, fut pourvu par le roi Charles V d'astrolabes, équatoires, sapheas, sphères et autres instruments (26). Au début du ^{xvi}^e siècle, encore, il y avait un astrolabe suspendu dans la grande librairie de la Sorbonne; or on sait que la Sorbonne avait deux bibliothèques, la petite librairie, qui servait pour les prêtres, et la grande, qui était une sorte de salle d'usuels, exclus du prêt (27); on pense bien que l'astrolabe qui s'y trouvait en permanence n'était pas destiné à faire de la bibliothèque un petit observatoire, mais que son objet était de permettre aux étudiants de se livrer à des travaux pratiques, en quelque sorte.

Aujourd'hui encore, d'ailleurs, il s'est trouvé des astronomes avertis pour souhaiter qu'il soit fait recours à la théorie de l'astrolabe dans les cours d'astronomie (28).

Nous avons vu que la détermination de la latitude par la hauteur méridienne du soleil à une date quelconque ne nécessite pas seulement l'observation de cette hauteur, mais aussi la connaissance de la déclinaison du soleil à cette date. Il a été fait allusion tout à l'heure à l'intérêt que présentait, de ce point de vue, le traité du quadrant ancien de Robertus Anglicus, qui est normalement, mais pas toujours, accompagné d'une table des déclinaisons. Il faut souligner tout de suite que, tout comme l'astrolabe, le quadrant ancien, en principe, n'a pas besoin, pour être utilisé, d'une telle table: le curseur porte en effet une graduation double, selon les signes du zodiaque et selon le calendrier; en face de cette dernière, qui a été construite par points (29) et qui est une graduation inégale, la graduation égale du limbe fournit, par simple lecture, les déclinaisons des différents jours de l'année. L'usage ordinaire est néanmoins que le traité de Robertus Anglicus soit accompagné d'une table des déclinaisons; celle-ci se compose de deux parties: une table

(25) Paris, Maz. 576. Je dois à l'obligeance de Mlle J. Viellard et de M. J. Monfrin, qui préparent une édition de cet important registre, d'avoir pu prendre connaissance des références à des mentions de prêt d'astrolabes et instruments astronomiques; qu'ils en soient très vivement remerciés.

(26) E. WICKERSHEIMER, *Recueil des plus célèbres astrologues et quelques hommes doctes fait par Symon de Phares*, Paris, 1929, p. 228.

(27) L. DELISLE, *Le Cabinet des manuscrits de la Bibliothèque nationale*, t. II, 1874, p. 181.

(28) H. MICHEL, *Traité de l'astrolabe*, Paris, 1947, pp. 187-193. C. F. JENKIN, *The astrolabe, its construction and use*, Londres, s.d. (1925): cette brochure était destinée à accompagner un astrolabe planisphérique moderne conçu comme un instrument didactique, fabriqué en série et vendu par Messrs. W. Watson & Co., à Londres; quelques exemplaires de cet astrolabe sont conservés au Museum of the History of Science, à Oxford.

(29) P. TANNERY, *op. cit.*, p. 607.

des déclinaisons de chaque degré du zodiaque et quatre tables, pour chacune des années d'un cycle bissextile, donnant le degré du zodiaque où se trouve le soleil chaque jour de l'année, c'est à dire la longitude ou le «lieu» du soleil. Une telle association n'est pas une création originale de Robertus Anglicus; on la trouve bien avant cet auteur, par exemple dans la traduction par Walcher de Malvern du *De Dracone* de Pierre Alphonse, en 1120 (30). On observera que la table des déclinaisons des degrés du zodiaque a une valeur perpétuelle, tant que la valeur reçue pour l'obliquité de l'écliptique n'est pas changée: de fait, la table du quadrant ancien n'est que la reproduction de la table d'Azarquiel (31), à quelques variantes près qui tiennent aux conditions de la tradition manuscrite. La table d'Azarquiel était précise en degrés, minutes et secondes, jusqu'à $23^{\circ} 33' 30''$ d'obliquité; la table de Robertus Anglicus ne donne que les degrés et les minutes. L'une et l'autre se rencontrent tout au long du moyen âge.

La table de correspondance des jours et des degrés du zodiaque n'a, en revanche, qu'une valeur éphémère à cause de l'avance prise par le calendrier julien sur les phénomènes astronomiques. Il n'est donc pas étonnant qu'au cours des trois siècles de sa diffusion le traité de Robertus Anglicus ait été accompagné de tables des longitudes solaires différentes.

L'importance des tables des déclinaisons du quadrant ancien pour les origines de la navigation a été soulignée à bon droit (32). Il faut remarquer pourtant que les plus anciens manuels de navigation astronomique, tels les régimes de Munich et d'Evora, comportent des tables des déclinaisons qui se présentent de façon bien différente des tables de Robertus Anglicus. La déclinaison n'y est pas donnée par degrés du zodiaque, mais directement pour chaque jour d'une année. Je crois qu'il faut insister à ce propos sur une autre tradition médiévale à laquelle pourraient se rattacher les régimes de Munich et d'Evora, je veux parler des calendriers.

Les calendriers médiévaux sont les plus divers; à côté du type le plus simple, dont l'intérêt pour l'histoire de l'astronomie est très limité, on trouve souvent, dans les manuscrits, des calendriers qui proposent la longitude quotidienne du soleil en même temps que sa hauteur méridienne et les dates et heures des conjonctions et oppositions du soleil et de la lune (c'est à dire des nouvelles lunes et des pleines lunes) en fonction du rang de l'année dans le cycle de dix-neuf ans, c'est à dire du nombre d'or. Mais on trouve aussi

(30) Erfurt, Ampl. 4^o 351, fol. 15-17v.

(31) Les versions arabe et castillane publiées par J.-M. MILLAS-VALLICROSA, *Estudios sobre Azarquiel*, Madrid-Grenade, 1943-1950, p. 174, ne donnent les déclinaisons que tous les trois degrés. La version latine des tables de Tolède, diffusée sous le nom d'Azarquiel, donne les déclinaisons tous les degrés, avec des valeurs sensiblement différentes de celles de la version arabe; elle est très fréquente dans les manuscrits; cf. R. A. LAGUARDA TRIAS, *Origen hispanico de las tablas nauticas de declinacion solar*, Madrid, 1958 (extr. de *Revisia general de Marina*, 1958), pp. 14-15.

(32) L. MENDONÇA DE ALBUQUERQUE, *Os guias nauticos de Munique e Evora*, Lisbonne, 1965 (*Agrupamento de estudos de cartografia antiga, Memorias*, IV), pp. 53-55.

parfois, en face de chaque jour, à côté de la longitude du soleil, l'indication de sa déclinaison. Au hasard des références que j'ai pu trouver, je citerai le calendrier de Pierre de Saint-Omer, du moins dans certains de ses manuscrits (33), ou un tout petit calendrier de poche conservé à la Bibliothèque nationale de Paris (34).

Je voudrais, à cette occasion, faire quelques réflexions sur les tables des régimes de Munich et d'Evora. Les listes de déclinaisons sont celles-là même d'Azarquiel, popularisées, comme je l'ai dit, par le traité du quadrant ancien, mais rencontrées à tout propos dans les manuscrits; l'identité est évidente pour le régime de Munich parce que les longitudes du soleil sont exprimées en degrés entiers, ce qui ne va pas sans entraîner quelques anomalies: les 16 et 17 mars, par exemple, ont la même longitude, tandis que la liste des déclinaisons se poursuit imperturbablement au delà de celle du 16 mars, comme si la longitude avait continué de croître quotidiennement d'un degré. Les déclinaisons du régime d'Evora ont été aussi tirées de la table d'Azarquiel, mais, comme les longitudes y sont exprimées en degrés et minutes, les déclinaisons ont été interpolées pour tenir compte des fractions de degré. L'interpolation est constamment employée dans les tables astronomiques médiévales; c'est ainsi que ce procédé de calcul peut intervenir jusqu'à six fois dans la détermination du vrai lieu d'une seule planète. Il est, il est vrai, pratiqué avec plus ou moins de soin; un bon exemple d'interpolations bâclées est fourni par les tables de longitudes et déclinaisons du soleil qu'on trouve en tête du manuscrit dit *Livro de marinaria* d'André Pires: certaines déclinaisons sont prises telles quelles de la table des déclinaisons, comme si les longitudes étaient arrondies en degrés entiers, d'autres sont interpolées très grossièrement, d'autres encore sont associées à des longitudes plus fortes ou plus faibles de un à deux degrés que celles auxquelles elles devraient correspondre (35).

L'étude des listes des déclinaisons des régimes de Munich et d'Evora n'offre donc pas grand intérêt, car l'évolution qu'on constate par exemple de l'un à l'autre dans l'affectation de déclinaisons voisines à des jours diffé-

(33) Oxford, Ashmole 1522, fol. 9-15.

(34) Paris, n.a.l. 375; dans n.a.l. 621, la déclinaison est prévue, mais elle n'a été portée que du 11 mars au 16 avril. Sur les calendriers portatifs, v. A. VERNET, *Calendrier portatif de Mamert Fichet (1440)*, dans *Bulletin de la Société nationale des antiquaires de France*, 1959, pp. 243-244.

(35) L. MENDONÇA DE ALBUQUERQUE, *O livro de marinaria de André Pires*, Lisbonne, 1963 (*Agrupamento de estudos de cartografia antiga, Memórias*, I), pp. 167-181 et 182-197. On constate, par exemple, p. 171, que le passage du 31 janvier au 1^{er} février de la deuxième année du premier groupe de tables, qui se traduit en longitude par un invraisemblable bond de deux degrés, n'entraîne qu'une diminution de 14' de la latitude, à côté de sauts de 20' du 30 au 31 janvier et du 1^{er} au 2 février. Ces tables du livre d'André Pires doivent être le résultat d'une genèse assez complexe; d'ailleurs M. de Albuquerque, dans l'excellente étude critique qu'il leur a consacrée (*op. cit.*, pp. 34-81) y a relevé jusqu'à trente ans d'écart entre les dates auxquelles correspondent effectivement les longitudes solaires d'une même année. Le plus vraisemblable est que ces tables ont été constituées de bribes et de morceaux, aujourd'hui bien difficiles à interpréter.

rents n'est que la conséquence de la variation des longitudes. L'expression des longitudes du régime de Munich en degrés entiers est vraiment trop insuffisante pour qu'il soit possible d'en tirer une conclusion précise (36). En revanche, l'examen des longitudes du régime d'Evora permet d'avancer, pour la date de ce texte, des hypothèses fondées: L. Pereira da Silva et M. L. Mendonça de Albuquerque (37) ont comparé avec profit les tables en question avec les informations fournies par l'*Almanach perpetuum* de Zacut et constaté que la première année du cycle quadriennal du régime d'Evora correspondait pour partie à 1520 et pour partie à 1517. Je souscris entièrement à ces conclusions, mais je souhaiterais en nuancer les prémices. L'exécution sur ordinateur des tables alphonsines (38) m'a permis en effet de constater la concordance des longitudes solaires alphonsines, pour 1520 et pour 1517, avec la table du régime d'Evora et avec les positions déduites de l'*Almanach* de Zacut (39). Il n'est donc pas nécessaire d'invoquer l'œuvre du juif salmantin pour expliquer la genèse du régime d'Evora, on peut tout aussi bien admettre que tous deux sont issus directement des tables alphonsines.

Mais il y a plus: on a effectivement la preuve que la table du régime d'Evora n'a pas été établie d'après l'*Almanach* de Zacut; entre le 22 et le 28 juin d'une année bissextile qui doit être, on l'a vu, 1520, la longitude solaire proposée s'écarte en effet jusqu'à quatre minutes des positions du soleil qu'on peut obtenir d'après l'*Almanach*; or celui-ci, pour ces dates, continue

(36) Je ne crois pas qu'on puisse s'arrêter à la date de 1483 (L. MENDONÇA DE ALBUQUERQUE, *Os guias náuticos*, p. 77). Une comparaison avec les positions alphonsines (v. note 38) donne un éventail aussi ouvert que 1417-1549, très approximativement.

(37) L. PEREIRA DE SILVA, *As tabuas nauticas portuguesas e o Almanach perpetuum de Zacuto*, dans *Obras completas*, t. II, pp. 5-19. L. MENDONÇA DE ALBUQUERQUE, *Os guias náuticos*, pp. 80-82.

(38) E. POULLE et O. GINGERICH, *Les positions des planètes au moyen âge: application du calcul électronique aux tables alphonsines*, dans *Académie des inscriptions et belles-lettres, comptes rendus des séances*, 1967, pp. 531-548.

(39) Pour le régime d'Evora, on est un peu gêné parce qu'on n'y dispose pas des secondes et qu'on ignore dans quelles conditions les calculs ont été effectués: en laissant tomber les secondes dès le début du calcul, en les laissant tomber seulement dans le résultat final, ou en en tenant compte pour arrondir par excès ou par défaut le chiffre des minutes? on ne pourrait être fixé qu'en refaisant un très grand nombre de calculs. La comparaison sur grandes séries est néanmoins probante. En ce qui concerne l'*Almanach* de Zacut, on ne sait pas non plus comment ont été faits les calculs, ni même pour quelle heure et pour quelle longitude, même si celle de Salamanque paraît probable; l'écart entre les positions de Zacut et les positions alphonsines calculées porte, pour le soleil, sur quelques secondes.

Une différence importante entre Zacut et les tables alphonsines est que celles-ci utilisent les signes naturels (groupements de soixante degrés) et celui-là les signes du zodiaque (groupements de trente degrés), selon l'ancien système des tables d'Azarquiel. Mais cette divergence est due à la conception de l'*Almanach* qui, donnant les positions elles-mêmes des planètes, les exprime en fonction des signes du zodiaque, tandis que les éléments fournis par Alphonse X, destinés à un calcul en numération sexagésimale, font abstraction des signes physiques. Les *Ephemerides* de Regiomontanus, établies aussi sur les tables alphonsines, ont opéré la même mutation.

à suivre les positions alphonsines. Les positions du régime d'Evora sont d'ailleurs manifestement erronées, puisque, l'accroissement quotidien moyen étant en cette période de l'année de 57 minutes, on assiste à des sauts successifs de 59, 57, 58, 57, 55 et 56 minutes avant de revenir à l'accroissement régulier de 57 minutes (cf. le tableau I). Plutôt que d'essayer d'expliquer cette anomalie par une série de fautes de l'imprimeur ou du copiste, bien improbables dans ce cas, je crois qu'il faut revenir aux tables alphonsines elles-mêmes: le responsable du calcul du régime d'Evora s'est sans doute trompé(40) en prenant l'équation du centre moyen du soleil entre $0^s 10^o$ et $0^s 15^o$, comme on peut le voir dans la reconstitution du calcul d'une des positions erronées présentée par le tableau II. L'ascendance alphonsine directe du régime d'Evora paraît ainsi démontrée.

TABLEAU I

LONGITUDES DU SOLEIL

	selon le régime d'Evora (éd. L. M. de Albuquerque p. 204)	d'après Zacut (positions indiquées pour la troisième année, p. 39 de l'édition fac-similé de J. Ben- saude, auxquelles ont été ajoutées 19' 25'' correspon- dant à 11 révolutions)	d'après les tables alphonsines (positions calculées sur ordinateur pour le méridien de Tolède à midi du jour indiqué)
20 juin 1520	cancer $8^o 3'$	cancer $8^o 3' 29''$	$1^s 38^o 3' 13''$
21	9 0	9 0 30	1 39 0 15
22	9 59	9 57 31	1 39 57 17
23	10 56	10 54 33	1 40 54 18
24	11 54	11 51 35	1 41 51 20
25	12 52	12 48 37	1 42 48 21
26	13 49	13 45 39	1 43 45 23
27	14 44	14 42 41	1 44 42 25
28	15 40	15 39 43	1 45 39 28
29	16 37	16 36 27	1 46 36 31
30	17 34	17 33 48	1 47 33 34

(1^s vaut 60 degrés)

(40) Je préfère cette explication à celle qui paraîtrait plus logique, vu la constance de la même erreur sur plusieurs jours, selon laquelle le manuscrit utilisé aurait comporté un décalage des lignes de la partie concernée de la table de l'équation du soleil, car alors on constaterait la même anomalie à la fin de mai et aux premiers jours de juin, lorsqu'intervient la même équation; or les longitudes du soleil dans cette partie du calendrier sont satisfaisantes, exception faite du 1^{er} juin, où $20^o 6'$ est une erreur évidente pour $20^o 0'$.

TABLEAU II (41)

CALCUL DE LA LONGITUDE DU SOLEIL LE 26 JUIN 1520 À MIDI D'APRÈS LES TABLES ALPHONSINES

En numération sexagésimale, la date s'exprime ainsi;

1000 a.	1 41 27 30
500 a.	50 43 45
19 a.	1 55 39
mai	2 32
26 j.	26
	<hr/>
	2 34 9 52 ^d

(note: le 26 juin à midi, date civile, correspond au 27 juin à midi selon le mode de calcul alphonsin).

Mouvement de l'auge:	2	0 ^s	8°	41'	22''	34'''
	34	0	2	27	43	23
	9	0	0	0	39	6
	52	0	0	0	3	45
		<hr/>				
		0 ^s	11°	9'	48''	48'''

Mouvement d'accès et de recès:	2	1 ^s	0°	49'	38''
	34	0	17	14	3
	9	0	0	4	33
	52	0	0	0	26
		<hr/>			
		1	18	8	40
+ racine		7	59	12	34
		<hr/>			
		1 ^s	17°	21'	14''

Equation du mouvement d'accès et de recès $\left\{ \begin{array}{l} 8^{\circ} 46' 2'' \\ 8^{\circ} 48' 5'' \end{array} \right\} : 8^{\circ} 46' 45''$

Mouvement de l'auge vraie:	0 ^s	11°	9'	48''
		8	46	45
		<hr/>		
		0 ^s	19°	56' 33''

Moyen mouvement du soleil:	2	16 ^s	39°	14'	38''	27'''
	34	30	43	7	8	53
	9	8	52	14	56	35
	52	0	51	15	13	0
		<hr/>				
		3	5	51	56	55
+ racine		4	38	21	0	30
		<hr/>				
		1 ^s	44°	12'	57''	25'''

(41) On trouvera d'autres exemples de calcul de positions planétaires au moyen âge dans l'article cité n. 38 et dans: E. POULLE, *Astrologie et tables astronomiques au XIII^e siècle*, Robert le Febvre et les tables de Malines, dans *Comité des travaux historiques et scientifiques, Bulletin philologique et historique (jusqu'à 1610)*, 1964, pp. 793-831, notamment pp. 810-831.

Auge du soleil:		0 ^s 19° 56' 33"
	+ racine	1 11 25 23
		1 ^s 31° 21' 56"
Centre moyen: moyen mouvement		1 44 12 57
	— auge	1 31 21 56
		0 ^s 12° 51' 1"

Table de l'équation du centre du soleil: 0 ^s 10°		— 0° 21' 28"
11		0 23 36
12		0 25 45
13		0 27 53
14		0 30 1
15	—	0 32 8

Au lieu d'être interpolée entre $-25' 45''$ et $-27' 53''$, ce qui aurait donné $-27' 33''$, l'équation du centre a été interpolée entre $-25' 45''$ et $-23' 36''$, ce qui donne $-23' 56''$, ou encore elle a bien été interpolée entre $-25' 45''$ et $-27' 53''$, mais la différence correspondant aux $51' 1''$ du centre moyen, soit $1' 48''$, a été retranchée de $-25' 45''$, comme si l'équation du centre était décroissante en valeur absolue, au lieu d'y être ajoutée, ce qui provoque une erreur pratiquement identique.

Vrai lieu du soleil:	1 44 12 57	au lieu de	1 44 12 57
	— 23 56		— 27 33
	1 ^s 43° 49' 1"		1 ^s 43° 45' 24"

Scientifiquement, on peut dire que les conditions se sont trouvées réunies très tôt, dès le XII^e siècle, qui auraient pu permettre l'essor d'une navigation astronomique. Avant de chercher les raisons pour lesquelles il n'en fut cependant pas question avant encore trois cents ans, il convient de faire observer qu'aucune allusion, absolument aucune, n'est jamais faite, dans les traités d'instruments astronomiques, avant le début du XVI^e siècle, à l'éventualité de la mesure d'une latitude en mer. La première mention d'une telle utilisation, on ne la trouve que dans le traité de Jacob Koebel, publié en 1532 (42); encore son expression est-elle très vague et ne traduit-elle guère que le désir d'illustrer, par un exemple concret, la référence à une vaste étendue sans repère; c'est le titre du douzième chapitre: «*Caput duodecimum docet qua via percontandum in quo climate sit devians in mari vel solitudine*».

Ce silence des textes médiévaux mérite d'autant mieux d'être souligné qu'une des caractéristiques les plus constantes des traités d'astrolabe est le souci manifesté par leurs auteurs d'atteindre à une sorte d'universalité de son emploi; l'utilisation de ces textes à des fins pédagogiques ne fut pas faite pour réduire cette tendance, et, de siècle en siècle, la nomenclature des chapitres d'usages s'allonge, souvent par dédoublement, sans d'ailleurs vraiment

(42) J. KOEBEL, *Astrolabii declaratio*, Paris, 1559, fol. 11v.

s'enrichir. On peut être certain, dans ces conditions, que la possibilité d'une utilisation nautique d'un instrument astronomique n'eût pas manqué d'être saisie.

De la part des professeurs d'astronomie, c'est sans doute le manque d'imagination qui est en cause. Mais les milieux nautiques sont plus excusables de n'avoir pas pensé à transposer plus tôt dans leurs préoccupations les solutions suggérées par l'enseignement universitaire, car il eut été vraiment paradoxal que, dans des conditions de stabilité autrement plus précaires que celles que connaissaient les astronomes de terre ferme, les pilotes aient eu recours à un matériel absolument pas fait pour l'usage pour lequel ils l'auraient sollicité: les astronomes ne se servaient pas de l'astrolabe pour observer, il n'y a pas de raison pour que les marins le leur aient emprunté.

Le problème des origines de la navigation astronomique ne se pose donc pas sur le plan scientifique, mais sur le plan technique; ou, si l'on veut, il peut se ramener à deux questions: quand a-t-on eu l'idée de la possibilité d'une navigation astronomique? quand et comment une telle navigation fut-elle réalisable?

On doit dès lors admettre l'existence d'une période transitoire, période de tâtonnements et de recherches à laquelle correspondent précisément les premières manifestations d'un effort concerté pour une navigation astronomique, se traduisant par des mesures de latitude effectuées à terre, mais à l'usage des marins, sinon par eux-mêmes. Il est remarquable en effet que les premières observations astronomiques réalisées à l'occasion d'expéditions maritimes l'aient été dans des conditions qui ressemblent singulièrement aux observations réalisées par les astronomes médiévaux.

A la vérité, on sait fort peu de chose sur le matériel que ces derniers utilisaient. Les témoignages sont pour ainsi dire inexistant. Il en est au moins un, cependant, et il est remarquable, c'est celui de l'astronome parisien Jean de Murs, observant, avec plusieurs collègues, l'éclipse du soleil du 3 mars 1337 «*cum astrolabiis bonis*» (43): il ne s'agissait sûrement pas d'exemplaires particulièrement soignés de l'astrolabe pédagogique auquel nous sommes habitués, mais de grands disques de bois munis d'une alidade et suspendus à une potence ou à un portique, dont le rôle exclusif était de fournir avec exactitude la hauteur sur l'horizon de l'astre observé. On peut faire un rapprochement entre de tels disques et les grands astrolabes, de plus de deux mètres de diamètre, construits au XVIII^e siècle pour l'observatoire de Jaipur, dans l'Inde (44), et encore conservés.

On peut penser que l'astrolabe utilisé par Bartolomeu Dias au cap de Bonne-Espérance en 1488 (45) appartenait à la même catégorie que celui de

(43) G. BEAUJOUAN, dans *École pratique des hautes études, IV^e section, sciences historiques et philologiques*, annuaire 1964-1965, p. 260.

(44) R. T. GUNTHER, *The astrolabes of the world*, Oxford, 1932, t. I, p. 214. Cf. A. SAYILI, *The observatory in Islam*, Ankara, 1960 (*Publications of the Turkish historical society*, series VII, 38), pp. 359-361.

(45) Texte cité par L. MENDONÇA DE ALBUQUERQUE, *Os guias náuticos*, p. 62.

Jean de Murs: un disque de très grande taille simplement gradué. D'ailleurs, nous savons par João de Barros que celui dont se servit Vasco de Gama dans la baie de Sainte-Hélène, en 1497, avait trois paumes de diamètre et qu'on l'employait en le suspendant à une «chèvre» (46). De même, le quadrant que Diogo Gomez aurait utilisé dans les îles du Cap Vert (47) n'est sans doute ni un quadrant ancien, ni encore moins un quadrant nouveau, mais un grand quart de cercle tout simple, semblable à l'instrument dont la description est insérée dans le traité d'Al-Battani, dans les canons des tables alphonsines de Jean de Lignères et dans les canons du premier mobile du même auteur (48): ce quart de cercle gradué peut pivoter dans un plan vertical autour d'un de ses côtés qui reste toujours vertical et il est muni d'une alidade; on voit donc que le système d'observation en est profondément différent de celui du quadrant de laiton classique à fil à plomb et pinnules placées sur un des côtés. A la fin du xvi^e siècle, encore, Tycho Brahe, le meilleur praticien de l'astronomie d'observation en son temps, décrira, dans son *Astronomiae instauratae mechanica* (1598), un matériel composé pour une bonne part de grands quadrants.

On comprend dès lors comment la grande taille de ces instruments condamnait leur utilisation à bord des navires et pourquoi les premières observations furent faites à terre. Lorsque certains milieux nautiques conçurent l'idée d'appliquer à la navigation des méthodes de détermination de la latitude enseignées dans les universités depuis plusieurs siècles, il leur fallut constater l'inaptitude à une utilisation en mer des instruments d'observation pratiqués par les terriens. La navigation astronomique ne put véritablement se développer qu'après qu'ait été mis au point un matériel répondant aux conditions particulières du service qui lui était demandé: l'astrolabe dit nautique ne tire nullement son origine de l'astrolabe astronomique classique, il est seulement la transformation, par la réduction de ses dimensions sans diminution du poids, des grands instruments de bois dont l'astronomie d'observation faisait exclusivement usage.

(46) *Ibid.*, p. 65.

(47) *Ibid.*, pp. 28-31.

(48) C. A. NALLINO, *Al-Battani sive Albatenni Opus astronomicum*, Milan, 1903 (*Pubblicazioni del reale Osservatorio di Brera in Milano*, XL), t. I, p. 142. Nombreux manuscrits de Jean de Lignères; j'ai utilisé Paris, lat. 7281, fol. 179v-180, et lat. 7292, fol. 1v-2. On trouve parfois isolément cette description d'un quadrant d'observation: Paris, lat. 10266, fol. 76v; cf. aussi un texte édité par M. CURTZE, *Urkunden zur Geschichte der Trigonometrie im christlichen Mittelalter*, dans *Bibliotheca mathematica*, 3^e série, t. I, 1900, pp. 395-397, que des erreurs dans la nomenclature des lettres de repérage de la figure explicative rendent intelligible.

DISCUSSÃO

A. CORTESÃO.—Bien que le domaine du Prof. E. Poule soit l'astronomie médiévale, et que l'histoire de la navigation ne soit pas sa spécialité, comme il vient de nous dire, l'étude de l'histoire de la navigation scientifique est tellement dépendante de l'étude de l'astronomie médiévale que M. Poule nous a donné, comme d'habitude, une leçon remarquable et très appropriée au thème principal de notre Réunion.

En le remerciant de son excellente et importante contribution à nos travaux, je voudrais rappeler ce que j'ai dit à propos de la communication de M. Beaujouan sur une référence documentaire à l'existence de deux astrolabes à Coimbra au XI^e siècle et que je suis convaincu que les études d'astronomie ont commencé au Portugal bien plus tôt que ce qui est généralement admis. Ces astrolabes ont certainement été utilisés à l'école de la cathédrale et, d'accord avec M. Poule, «on peut saisir l'importance de ce rôle pédagogique de l'astrolabe».

Je veux encore souligner ces mots de M. Poule: «Scientifiquement, on peut dire que les conditions se sont trouvées réunies très tôt, dès le XII^e siècle, qui auraient pu permettre l'essor d'une navigation astronomique».

Comme il a aussi très bien dit: «On doit admettre l'existence d'une période de tâtonnements et de recherches à laquelle correspondent précisément les premières manifestations d'un effort concerté pour une navigation astronomique, se traduisant par des mesures de latitudes effectuées à terre, mais à l'usage des marins, sinon par eux-mêmes». J'ai des raisons pour croire que cette période expérimentale — dans laquelle l'astrolabe, le quadrant, ou possiblement même le grand cercle gradué ont joué un rôle très important — a commencé avec les premières explorations atlantiques, loin des côtes, dès les premières activités atlantiques de l'Infant D. Henrique.

D. W. WATERS.—I think the speaker has raised an interesting question in the origin of the sea-astrolabe, but I would like to draw attention to the fact that latitude sailing (navigation) was not developed directly but succeeded altitude navigation (altura). Briefly the estimated distance sailed north or south was checked by the difference in the observed altitude of the Pole Star (later of the Sun) at Lisbon and the place where the ship was, taken with a quadrant.

This was practiced in the middle of the xvth century; latitude navigation was developed soon after or at the time of the crossing of the equator (1471) almost certainly by the late 1480's.

E. POULLE. — N'étant pas moi-même historien de la navigation, je me suis abstenu de proposer des dates pour répondre aux deux questions auxquelles on peut ramener le problème de l'introduction de la navigation astronomique: quand a-t-on eu l'idée d'une telle navigation? et quand celle-ci fut-elle réalisable techniquement? S'il faut néanmoins avancer une date, je proposerais peut-être 1460 environ pour la première question et l'extrême fin du xv^e siècle pour la seconde.

A. TEIXEIRA DA MOTA.—O trabalho do Sr. Poule constitui uma importante contribuição para o melhor conhecimento do condicionalismo e do problema do aparecimento da navegação astronómica. Destaco, principalmente, a sua conclusão quando ao astrolábio náutico provir não do astrolábio astronómico clássico mas sim dos grandes instrumentos de madeira graduados. Um outro ponto relevante por si posto em destaque é o do carácter eminentemente didáctico dos instrumentos e manuais astronómicos medievais. Mas se

este facto pode ajudar a compreender por que tardaram tanto os métodos astronómicos a surgir na navegação do ocidente, é preciso não esquecer que esses métodos tinham interesse nulo ou muito limitado numa navegação que era essencialmente costeira, sobretudo se atendermos a que os instrumentos astronómicos eram apenas graduados em grau; em meados do século xvi a precisão das determinações de latitude no mar raramente atingiria um sexto de grau, o que não tinha qualquer interesse para a navegação nos mares europeus na maior parte dos casos. Em contrapartida, esta precisão oferecia grande interesse na navegação oceânica, tomada possível desde que os portugueses, no século xv, aprenderam a rodear as dificuldades que traziam os ventos gerais no Atlântico.

A propósito dos astrolábios usados por Vasco da Gama na sua primeira viagem à Índia, convém também recordar que além do grande círculo utilizado na Baía de Santa Helena, a bordo dos navios empregavam já pequenos astrolábios metálicos, aliás essenciais, para a longa travessia de 3 meses no Atlântico Sul.